



Centro de Estudos de Geografia  
e Ordenamento do Território

**CAMARA, MICHEL**

*Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil  
Avenida Rui Barbosa, 1594, Lagoa Nova, CEP 59056-300 Natal-RN, Brasil*  
[Rodcam1987@gmail.com](mailto:Rodcam1987@gmail.com)

**SCUDELARI, ADA**

*Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento  
de Engenharia Civil, Laboratório de Geotecnologia e  
Modelagem Costeira e Oceânica - GNOMO/UFRN  
Campus Universitário - Lagoa Nova, s/n, CEP 59078-970, Natal-RN, Brasil*  
[ada@ct.ufrn.br](mailto:ada@ct.ufrn.br)

**AMARO, VENERANDO**

*Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento  
de Engenharia Civil, Laboratório de Geotecnologia e  
Modelagem Costeira e Oceânica - GNOMO/UFRN  
Campus Universitário - Lagoa Nova, s/n, CEP 59078-970, Natal-RN, Brasil*  
[venerando.amaro@gmail.com.br](mailto:venerando.amaro@gmail.com.br)

**MATOS, MARIA**

*Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil,  
Geotecnologia e Modelagem Costeira e Oceânica -  
GNOMO/UFRN  
Campus Universitário - Lagoa Nova, s/n, CEP 59078-970, Natal-RN, Brasil*  
[mfatimaalves.m@gmail.com](mailto:mfatimaalves.m@gmail.com)

**RABELO, THIARA**

*UFRN, Programa de Pós-graduação em Geografia  
Rua Arabaiana, n 3104, conjunto Alagamar, Ponta Negra.  
CEP 59090-360 Natal-RN, Brasil*  
[thiarageo@hotmail.com](mailto:thiarageo@hotmail.com)

## **Geotecnologias como subsídio para gestão de ambientes costeiros: análise do recuo em falésias/arribas no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil, e suas implicações socioambientais**

**Geotechnologies as a subsidy for management of coastal environments: analysis of the decline in cliffs in the State of Rio Grande do Norte, Brazil, and its social and environmental implications**

**Referência:** Camara, Michel et al. (2019). Geotecnologias como subsídio para gestão de ambientes costeiros: análise do recuo em falésias/arribas no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil, e suas implicações socioambientais. Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT), n.º 16 (março). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, p. 53-79, dx.doi.org/10.17127/got/2019.16.003

### **RESUMO**

No presente trabalho foram utilizadas técnicas de geoprocessamento através de Processamento Digital de Imagens e Sistema de Informações Geográficas na análise de série

temporal em escala de 3 décadas, utilizando imagens de sensores remotos de resolução espacial de 30 e 6,5 m para identificar as áreas que tiveram recuo erosivo de falésia/arriba do litoral do Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil, mensurando o recuo e a descaracterização desses ambientes, além de identificar e analisar os impactos socioambientais presentes. Foram destacadas 5 áreas com recuos erosivos em falésias/arribas de até 78.061 m<sup>2</sup>, pondo em risco áreas de forte ocupação urbana, infraestruturas diversas e vias de acesso. Tais informações servem como subsídio para a gestão costeira nesses ambientes costeiros do litoral do Rio Grande do Norte.

**Palavras-chave:** gestão costeira, erosão costeira, geomorfologia.

#### **ABSTRACT**

In the present work geoprocessing technics were used through digital image processing and multi temporal geographic analysis on a three decade time scale, using remote sensing images of 30 m and 6,5 m of spatial resolution to identify areas which suffered cliffs retreat of the coast of Rio Grande do Norte-Brazil, measure in m<sup>2</sup> the retreat and loss of initial characteristics of these environments, as well as to identify and analyze the socio-environmental impacts present. Five cliff areas retreat were found, with set back up to 78,061 m<sup>2</sup>, putting at risk areas of heavy urban occupation, infrastructures facilities and access roads. Such information subsidize coastal management on these environment of the coast of Rio Grande do Norte.

**Keywords:** coastal management, coastal erosion, geomorphology.

## **1. Introdução**

A importância socioambiental dos setores costeiros pode ser evidenciada em diversos aspectos, como pela Biodiversidade, que abriga diversas espécies de fauna e flora, e igualmente pela Geodiversidade, que apresenta aspectos diferenciados, principalmente em relação às características geológicas e geomorfológicas (Rabelo, 2018).

Quanto às características geológicas e geomorfológicas, o ambiente costeiro é constituído por várias formas de relevo, reveladas nos aspectos de tamanhos e formas que variam desde praias suavemente inclinadas às falésias/arribas (Cai et al., 2009).

Embora muitos autores tenham contribuído nas últimas décadas com o conhecimento de sua origem e formação (Emery e Kuhn, 1982; Guilcher, 1985; Trenhaile, 1987; Griggs e Trenhaile, 1994; Bird, 2008; Davidson-Arnott, 2010; Sunamura, 2015; Bird, 2016), as falésias/arribas começaram a ser estudadas mais assiduamente nas últimas três décadas,

sobretudo, porque possuem um padrão de evolução específico e podem causar perdas irreversíveis de terras (Bianchi et al., 2003).

As falésias/arribas estão presentes em mais de 80% dos litorais do mundo (Emery e Kuhn, 1982) e correspondem ao setor onde quase um quarto da população global reside (Small e Nicholls, 2003). Historicamente a ocupação humana em zonas costeiras com a presença de falésias/arribas não são devidamente consideradas quando dos ordenamentos territoriais, como por exemplo, no estabelecimento de planos de uso e ocupação do solo de áreas urbanas situadas nessas regiões (Nunes et al., 2009). O processo erosivo em falésias/arribas, representam ameaças às infraestruturas instaladas na orla, propriedades públicas e privadas, recursos recreativos, segurança pública e os principais corredores de transporte, que se concentram ao longo da costa (Griggs et al., 2004). Devido ao crescente aumento da ocupação da orla, a erosão costeira é um problema global e merecedor de toda atenção, tendo em vista o aumento relativo do nível médio do mar decorrente do aquecimento global (Bird, 2008; Davidson-Arnott, 2010). Além disso, a erosão hídrica e a infiltração da cunha salina nos aquíferos costeiros, comprometem o abastecimento da água em centros urbanos (Cai et al, 2009).

Os riscos resultantes para atividade humana devido à instabilidade geomorfológica inerente às costas com presença de falésias/arribas tornaram-se um problema de gestão de grande magnitude (Cai et al, 2009) exigindo, assim, a inserção, por parte de cientistas e gestores, do uso de novas ferramentas propiciadas pelas Geotecnologias para avaliar a geodinâmica das falésias/arribas, analisar a evolução temporal das formas de relevo e quantificar de modo preciso e acurado o recuo das bordas e os deslizamentos/desmoronamentos dessas encostas, em apoio à gestão costeira eficaz (Nunes et al., 2009).

A maioria dos estudos envolvendo a aplicação de geotecnologias sobre falésias/arribas envolvem, principalmente, a quantificação da retração e a determinação dos movimentos de massa para avaliação dos riscos e perigos a que estão associados (Leatherman, 2003). Em algumas situações, tais estudos podem exigir altos recursos financeiros, tornando assim, difícil o monitoramento efetivo destas áreas (Nunes et al., 2009). Entretanto, abordagens associadas à inserção de ferramentas mais acessíveis, como, por exemplo, o Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento têm sido amplamente usados na gestão dos riscos de áreas susceptíveis a erosão (Williams et al., 2017).

A partir das técnicas de Sensoriamento Remoto e do Geoprocessamento, é possível melhorar o gerenciamento costeiro das falésias/arribas, fornecer informações simples e semi-quantitativas para análises dos riscos associados à erosão (Nunes et al., 2009). Essas tecnologias vêm sendo amplamente aceita na comunidade científica para quantificar taxas de modificações na linha de praia durante décadas (Amaro et al., 2012). As séries temporais de fotografias aéreas e imagens de satélites, por exemplo, têm permitido documentar as alterações costeiras, a dinâmica de uso e ocupação da orla, além de possibilitar a construção de banco de dados dos registros históricos de processos erosivos da zona costeira. (Kirk, 1975; Al-Tahir e Ali, 2004; Boak e Turner, 2005; Dahdouh-Guedes et al., 2006; Amaro et al. 2012).

O Estado do Rio Grande do Norte (RN), localizado no nordeste do Brasil, possui 410 km de costa, dos quais aproximadamente 105 km são de falésias/arribas (Vital et al., 2006). Alguns trechos das falésias/arribas, sobretudo as localizadas no litoral oriental sul do RN, entre os municípios de Baía Formosa e Natal, vem sendo estudadas nas duas últimas décadas por Amaral (2001), Severo (2005), Araújo et al. (2006), Souza Júnior (2006), Souza Júnior (2013), Ribeiro (2015), Almeida (2017), Carvalho (2017) e Taquez (2017).

Tendo em vista a presença de falésias/arribas em diversos trechos do litoral do Rio Grande do Norte e as potencialidades do uso de técnicas de geoprocessamento para identificar áreas de falésias/arribas e quantificação de taxas de recuo das mesmas, o objetivo deste trabalho é identificar as principais áreas do litoral do Estado do Rio Grande do Norte (RN) com presença de falésias/arribas, e quantificar a taxa de recuo entre o período de 1984 a 2014, usando as técnicas de geoprocessamento.

## **2. Caracterização da Área de Estudo**

A área de estudo (Figura 1) se refere ao litoral do estado do Rio Grande do Norte (Região Nordeste do Brasil), onde as falésias/arribas estão presentes em diversos trechos deste litoral, indo deste o município de Baía Formosa ao sul, até o município de Tibau na porção noroeste do litoral.

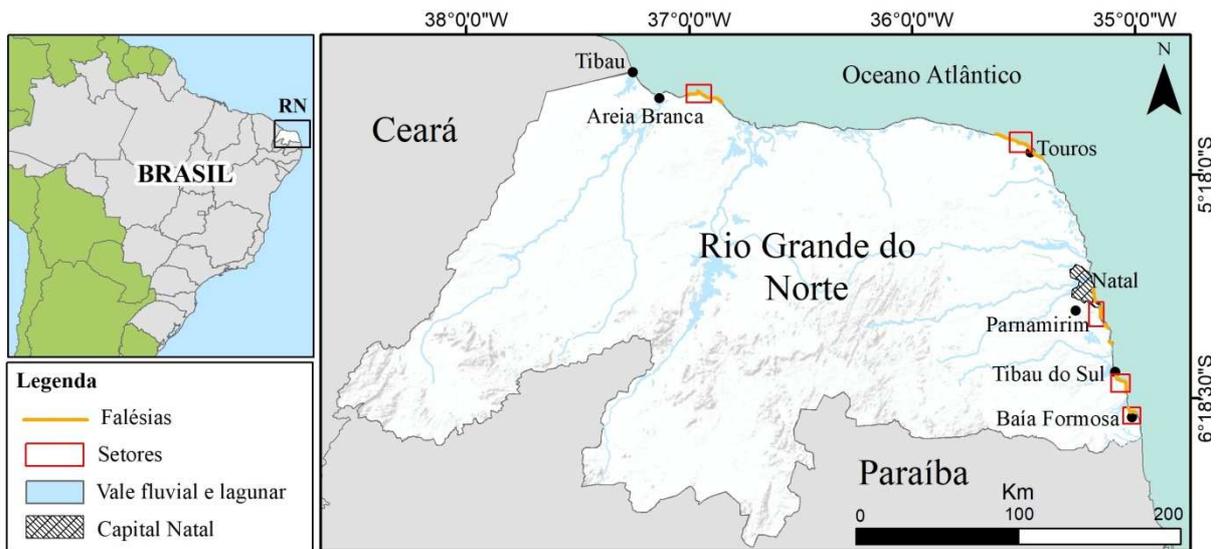


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo com identificação das cinco áreas que tiveram recuo erosivo ao longo do litoral do RN-Brasil.

Geologicamente a Formação Barreiras ocorre em todo o litoral do RN; é composta por rochas sedimentares siliciclásticas que constituem as falésias/arribas ao longo de todo o litoral (Martins et al., 2014), e por camadas intercaladas de arenitos e argilas com conglomerados (Araújo et al., 2006). Por vezes, neste litoral também, são encontrados à Formação Potengi, formada por uma sequência siliciclástica essencialmente arenosa e parcialmente consolidada aflorante nas porções superiores das falésias, sendo constituída por sedimentos eólicos antigos retrabalhados e contribuições de paleossolos da Formação Barreiras (Martins et al., 2014).

Este litoral é subdividido em dois setores geomorfologicamente distintos (Vital et al., 2006): litoral oriental e litoral setentrional (Figura 1). O litoral oriental, compreendido entre o município de Touros até o município de Baía Formosa, na divisa com o Estado da Paraíba, tem como principal característica morfológica a sequência de baías em forma de zeta com erosão relacionada aos padrões de refração e difração de ondas devido a processos de erosão diferencial da Formação Barreiras, e da direção predominante da incidência das ondas (Barreto et al., 2004). Observa-se também a predominância de campos de dunas parabólicas por vezes recobertas por vegetação, praias arenosas, complexos lagunares, arenitos de praia (*beachrocks*) e campos dunares e planícies estuarinas (Araújo et al., 2006).

No litoral setentrional, que abrange o trecho entre o Município de Tibau, na porção noroeste, até o município de Touros na porção leste (Figura 1), as dunas são em sua maioria

barcanas e barcanóides (Araújo et al., 2006). Este litoral abriga diversos compartimentos do relevo: as dunas submersas, os sistemas de ilhas barreiras, praias arenosas, praias lamosas, pontais arenosos, estuários, *beachrocks*, vales incisos e banco de recifes de corais (Testa e Bosence, 1998).

Em ambos os setores (Oriental e Setentrional) verifica-se a presença de falésias/arribas tanto ativas como inativas.

O litoral do RN apresenta acentuada variabilidade interanual, particularmente na precipitação, com alguns anos extremamente secos e outros chuvosos. Está sob a influência dos Anticiclones Subtropicais do Atlântico Sul (ASAS) e do Atlântico Norte (ASAN) e do cavado equatorial, cujas variações sazonais de intensidade e posicionamento determinam o clima na região (Cavalcanti et al., 2009). Os ventos de baixos níveis associados aos sistemas de pressão são os Alísios de sudeste, na borda norte do ASAS, e de nordeste, na borda sul do ASAN, os quais apresentam velocidades médias de 6,7 cm/s, com amplitude entre 2,6 - 13,4 cm/s (Cavalcanti et al., 2009).

As principais correntes marítimas que margeiam a costa do RN são a Corrente do Brasil, que acompanha o litoral do RN ao Rio Grande do Sul, direção norte-sul, e a Corrente Equatorial que vai do Rio Grande do Norte ao Amapá, com direção leste-oeste (Rosso, 2007).

A maré em toda a costa é semidiurna, com duas preamares e duas baixa-mares (DHN, 2018). As ondas que incidem nesta costa possuem padrões distintos, em função da geometria do litoral. No litoral oriental, são predominantemente de SE e E. Enquanto no litoral setentrional são predominantes de N e NE.

Dos 105 km de falésias/arribas presentes no litoral do RN, o estudo destacou 5 setores onde foram identificados expressivo recuo erosivo das mesmas. Duas áreas no litoral setentrional, nos municípios de Areia Branca e Touros, e outras três áreas que se encontram no litoral oriental, nos municípios de Parnamirim, Tibau do Sul e Baía Formosa (Figura 1).

### **2.1. Configuração das Falésias/Arribas do Litoral do RN**

A média das alturas das falésias/arribas deste litoral variam entre 10 e 40 m, com declives médios entre 20° e 60°, e estão sendo corroídas tanto por quedas de blocos quanto por deslizamentos que formam um tipo de rampa de detritos na base. O mecanismo mais comum é a queda de blocos das partes média e superior da falésia/arriba, devido à pressão

exercida pela penetração da água intempérica em rachaduras na parte superior (Santos, 2006; Santos et al., 2011; Blanco-Chao et al., 2014).

As praias arenosas frontais à falésia/arriba, quando existentes, variam em largura de 5 a 15 m, com acumulações de seixos/cascalho na base atuando como estruturas de proteção; quando esta estrutura está ausente, o solapamento basal da falésia/arriba pode ser observado. Os episódios de instabilidade são principalmente os associados a grandes eventos de precipitação, afetando ambos as falésias/arrisbas ativas sob o ataque de ondas e as falésias/arrisbas inativas não atingidas pelas ondas (Furrier et al., 2006; Santos, 2006; Santos et al., 2011; Blanco-Chao et al., 2014).

Santos et al., (2011) investigaram os mecanismos de retração de falésias/arrisbas da Formação Barreiras da porção sul do litoral do RN e afirmam que as diferentes propriedades geotécnicas das camadas de sedimentos, a ocorrência de características protetoras, como a largura da faixa de praia e os episódios de fortes chuvas, são os principais fatores que controlam o recuo.

### **3. Procedimentos metodológicos**

Os procedimentos metodológicos adotados neste estudo visaram a identificação dos locais em que ocorreu recuo de falésias/arrisbas, denominados de *hotspots* erosivos. Assim, o presente estudo foi estruturado por etapas, que compreenderam aquisição e processamento de imagens de satélite, vetorização e análise da série temporal da linha de costa e determinação da taxa de recuo.

#### **3.1. Pré-processamento das imagens de satélites**

Esta primeira etapa do estudo consistiu na aquisição e seleção de imagens de satélites para o levantamento da linha de costa. As imagens de satélite foram analisadas quanto à resolução radiométrica e espacial, escala temporal e cobertura de nuvens na aquisição da imagem. A parametrização desses atributos foi necessária tendo em vista a análise de múltiplas linhas de costas. As imagens do satélite LANDSAT (TM5 e ETM7+PLUS) foram

obtidas do Earth Explorer, plataforma gratuita de acessibilidade de diversos produtos de sensoriamento remoto da *United States Geological Survey* (USGS) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Muitas das imagens disponibilizadas pela USGS já se apresentam ortorretificadas, mas quando se mostrou necessário, o georreferenciamento das imagens foi realizado. A Tabela 1 apresenta os erros e modelos matemáticos envolvidos no georreferenciamento das imagens utilizadas. Para o sistema de coordenadas das imagens foi utilizado a projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM), Zona 24-Sul e 25-Sul e o *Datum* SIRGAS 2000.

Outro conjunto de imagens que integra este trabalho, foi o uso das imagens RapidEye, estas disponibilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). As imagens RapidEye são entregues em nível 3A, com correção radiométrica e ortorretificadas (RapidEye, 2018), prontas para uso em Sistemas de Informações Geográficas (Antunes et al., 2014).

Satélite	Data de Aquisição	Resolução Espacial (m)	Georreferenciamento	RMS/Erro acumulado (metros)
LANDSAT 5-TM	19/07/1984	30	Ortorretificado	4,522
LANDSAT 5-TM	20/09/1986	30	Ortorretificado	4,305
LANDSAT 5-TM	05/09/1993	30	Polinomial Quadrático (1984)	0,623/4,916
LANDSAT 7-ETM+PLUS	29/01/1994	30	Polinomial Quadrático (1986)	0,577/4,584
LANDSAT 7-ETM+PLUS	13/07/2002	30	Polinomial Quadrático (1984)	0,667/3,371
LANDSAT 7-ETM+PLUS	14/04/2004	30	Polinomial Quadrático (1986)	0,621/3,345
RAPIDEYE	29/04/2013	6,5	Ortorretificado	0,701/3,551
RAPIDEYE	30/08/2014	6,5	Ortorretificado	0,679/3,489

Tabela 1 - Características de aquisição dos sensores e imagens ópticas que foram utilizadas para a análise da série temporal do litoral do RN.

### 3.2. Correção dos efeitos atmosféricos

Após a correção geométrica das imagens, a próxima etapa consistiu na correção dos efeitos atmosféricos. Nesta fase, a correção foi aplicada apenas nas imagens dos satélites LANDSAT: TM5 e ETM7+PLUS. As imagens Rapideye de nível 3A, já foram adquiridas com a correção atmosférica, através do modelo ATCOR3 (Rapideye, 2018).

Os efeitos do espalhamento atmosférico adicionam um valor de brilho a todos os pontos da imagem e as áreas sombreadas deixam de exibir pixels com valores zero ou bem próximos de zero, causando às imagens uma aparência desfocada ou de névoa, devido à perda de contraste apresentada por elas (Agrawal e Sarup, 2011). Por isso, foi realizado o cálculo de correção dos efeitos atmosféricos pelo método do pixel escuro, para diminuir esse efeito e melhorar o contraste visual entre as feições. A importância dessa etapa é garantir o menor erro possível e obter o máximo de informações hiperespectral das imagens de satélites (Agrawal e Sarup, 2011).

O método de correção atmosférica DOS (*Dark Object Subtraction*) proposto por Chavez (1989) é um método de correção do espalhamento atmosférico no qual a interferência atmosférica é estimada diretamente a partir dos números digitais (ND) da imagem de satélite, sendo ignorada a absorção atmosférica. Para a aplicação desta técnica não há a necessidade de se obter dados sobre as condições atmosféricas na data de obtenção das imagens. No método DOS assume-se que há uma grande probabilidade de existir alvos (pixels) escuros nas imagens, como sombras ocasionadas pela topografia ou por nuvens, os quais deveriam apresentar um ND muito baixo na imagem, equivalente a cerca de 1% de refletância (Chavez, 1989). Contudo, esses pixels sombreados apresentam valores de ND nas imagens superiores aos esperados, consequência do espalhamento atmosférico, e por isso esses pixels escuros servem de referência para a correção do espalhamento atmosférico (Sanchez et al., 2011). Para a aplicação da correção DOS, a partir da análise do histograma de frequência de NDs (Número Digital) de uma das bandas da imagem, de preferência a banda de menor comprimento de onda, um valor de pixel escuro é escolhido (Almeida et al., 2015). Em seguida, um modelo de espalhamento atmosférico é selecionado e o valor de espalhamento é estimado por banda espectral, sendo os valores de espalhamento estimados normalizados de acordo com os ganhos e offsets usados pelo sistema imageador para coletar os dados (Chavez, 1989).

### 3.3. Processamento digital das imagens

Na fase do processamento digital de imagem fez-se a delimitação precisa do limite terra/mar (Amaro et al., 2012) e o realce das litologias que constituem as falésias/arribas, enquanto que na fase de processamento de dados, fez-se a interpretação da análise dos dados multitemporais.

Na determinação do limite terra/mar, ou mais especificamente, entre as áreas submersas e emersas, adotou-se as bandas espectrais das imagens em sistema de cores *Red-Green-Blue* (RGB) combinadas com os sistemas *Intensity-Hue-Saturation* (IHS), manipuladas pelo histograma de contraste, onde os realces de cores são ampliados até o destaque desejado (Amaro et al., 2012).

Para destacar as litologias que constituem as falésias/arribas, em ambas as imagens dos sensores Landsat 5-TM e Landsat 7-ETM+ foi utilizada a composição R(3/2)-G4-B1-I(5/2) no sistema de cores Red-Green-Blue-Intensity (RGBI) (Figura 2). A razão 3/2 no Red (Vermelho) realçou os arenitos (Fatima et al., 2017) da Formação Barreiras devido a sua riqueza em óxido de ferro que apresentou uma maior reflectância nessa banda, auxiliando no contraste com a vegetação e com os sedimentos das dunas que são pobres em ferro (Fraser, 2007; Alasta, 2011). A aplicação da banda 4 no Green (verde) se deu por conta do infravermelho próximo ser a faixa de frequência onde se observa a maior reflectância da clorofila, favorecendo o contraste das feições de vegetação sobre as demais feições compostas pelo solo, rocha e água, o que gerou bons resultados (Ferreira e Silva, 2014; Ducart et al., 2016).

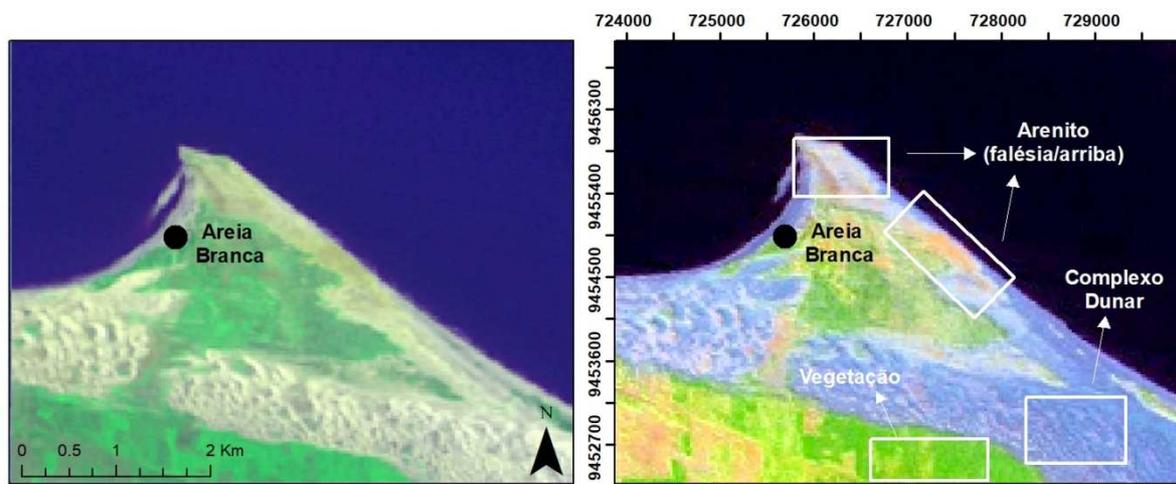


Figura 2-A) Imagem original, com baixo contraste entre as rochas da falésia/arribas e os corpos dunares. B) Imagem com processamento digital RGBI: R(3/2), G4, B1, I(5/2).

A escolha da banda 1 no Blue (azul) teve um papel importante para distinguir as feições das dunas móveis (Fadhil, 2013) holocênicas do arenito Barreiras, posto que esses depósitos eólicos por possuírem grande porosidade intergranular e devido a aquisição da imagem ter sido obtida durante a estação chuvosa na região, a resposta espectral desses campos dunares obteve uma tonalidade cinza azulada, contrastando em relação as rochas que constituem as falésias/arribas (Ducart et al., 2016).

A razão 5/2 no Intensity também auxiliou no aumento do contraste da falésia/arribas, visto que a mesma é rica em argila em sua cimentação que apresenta alta reflectância nessa banda (Fatima et al., 2017). Também, o infravermelho distal (5) tem uma reflectância menor da clorofila (Gross et al., 2015), porém continua sendo alta nas rochas, realçando o objeto de estudo (as falésias/arribas) e os contrastando das demais feições (Laake, 2011). Além de auxiliar na observação dos limites morfológicos da área em estudo. Vale citar que em todas as bandas foram utilizadas a transformada padrão linear no limite de transformadas, onde se obtiveram os melhores resultados devido a boa distribuição do sinal, exceto no canal do Intensity, onde o melhor resultado observado foi através da equalização gaussiana (Jesus e Costa JR., 2015), onde os sinais foram redistribuídos de forma que o resultado disso foi o melhor realce devido a uma maior saturação na imagem das feições objeto de interesse, nesse caso, as rochas que compõem as falésias/arribas (Guariglia et al., 2006; Gens, 2010). As unidades geológicas, foram bem destacadas, assim como os complexos dunares e a vegetação (Hauge, 2016).

Na análise da série temporal, a estratégia aplicada foi o mapeamento das mudanças de linha da borda de falésia/arribas através da integração de informações interdecadais por meio das imagens digitais de sensoriamento em enfoques ordenados de identificação, análise e interpretação seguindo os métodos descritos por Fletcher et al. (2003), Souto et al. (2006), Batista et al. (2009) e Amaro et al. (2012), entre outros, para mapeamento ambiental que se faz necessário as correções dos efeitos atmosféricos para melhoria do contraste visual entre as feições de superfície, relevo do terreno, para comparar o ajuste das características inalteradas das linhas de falésia/arribas e as correções geométricas para reduzir distorções causadas pela curvatura da Terra, refração, movimentação do sensor (Fletcher et al., 2003). A evolução na linha da borda de falésias/arribas das áreas em estudo foi feita a partir da comparação da detecção da linha de limite da rocha com os sedimentos, que compõem as praias e terraços de abrasão, derivadas da interpretação de imagens de satélites e da identificação in loco sobre a erosão nos diferentes setores das falésias/arribas. Para essas interpretações, foi adotado o enquadramento baseado em imagens orbitais de resolução moderada (30 a 6,5 m) entre os anos de 1986, 1994, 2004 e 2014 para o litoral Oriental e entre os anos de 1984, 1993, 2002 e 2013 para o litoral Setentrional (Tabela 1).

## 4. Resultados e discussões

### 4.1. Análises das variações da série temporal e determinação das taxas de recuo

Como dito anteriormente foram identificados 5 locais com recuo de falésias expressivos: Areia Branca, Touros, Parnamirim, Tibau do Sul e Baía Formosa.

#### 4.1.1. Taxa de retração das Falésias/Arribas de Areia Branca

Esta área sofreu recuo e se encontra no litoral setentrional do RN, no Município de Areia Branca. Com comprimento aproximado de 2.670 m, essa falésia/arriba faz parte do *horst* oriundo do sistema de grábens e *horst* controlados pelas falhas de Afonso Bezerra e Carnaubais na Bacia Potiguar. De todas as áreas de recuo identificadas, essa foi a que mostrou o maior recuo da borda de falésia/arriba. Na análise entre os anos de 1984 a 1993, foram observadas duas regiões que sofreram recuo. Na porção Noroeste, o recuo foi de 12.476 m<sup>2</sup>, enquanto que na porção sudeste, foi de 21.608 m<sup>2</sup> de borda recuada.

Na análise entre os anos de 1993 a 2002 também foi identificado recuo em ambas as porções da falésia/arriba, porém, com uma intensidade menor. Na porção Noroeste, o recuo diminuiu para 5.700 m<sup>2</sup>, menos da metade do observado na década anterior. Porém na porção Sudeste, a variação foi pequena, sendo identificado um recuo de 18.903 m<sup>2</sup>, com uma diminuição de 2.705 m<sup>2</sup> em relação à década anterior.

Entre os anos de 2002 a 2014 o recuo voltou a aumentar significativamente, sendo este o mais acentuado quando se considera o período de 1984 a 2014. A porção Noroeste apresentou recuo de 13.991 m<sup>2</sup>, ou seja, 1.514 m<sup>2</sup> a mais que o período de 1984 a 1993, e quando comparada aos anos de 1993 a 2004, a diferença é de 8.824 m<sup>2</sup>. Já na porção Sudeste, a área total recuada alcançou os 37.549 m<sup>2</sup>, correspondendo a 15.941 m<sup>2</sup> a mais que entre os anos de 1984 a 1993, e 18.646 m<sup>2</sup> a mais que entre os anos de 1993 a 2002, representando assim, um aumento de recuo da borda da falésia/arriba de 98% em relação ao período de 2002 a 2014.

O resultado final dessas três décadas (1984 – 2014) foi que a porção Noroeste da falésia/arriba mostrou um recuo de área de 31.634 m<sup>2</sup>, enquanto que na porção Sudeste foi de 78.060 m<sup>2</sup>. Ao avaliar os resultados obtidos das análises de série temporal no decorrer de 30 anos (Figura 3), ficaram evidentes dois importantes fatores:

O primeiro é o forte recuo sofrido pelas bordas das falésias/arribas em Areia Branca, que pode ser consequência de um material consolidado mais friável que de outras

falésias/arribas reagindo com a forte dinâmica dos processos costeiros desse ambiente e uma morfologia costeira, em forma de pontal, que expõe mais essa costa ao intemperismo e erosão costeira, sem contar com a escassez de vegetação possibilitando uma erosão pluvial mais intensa.

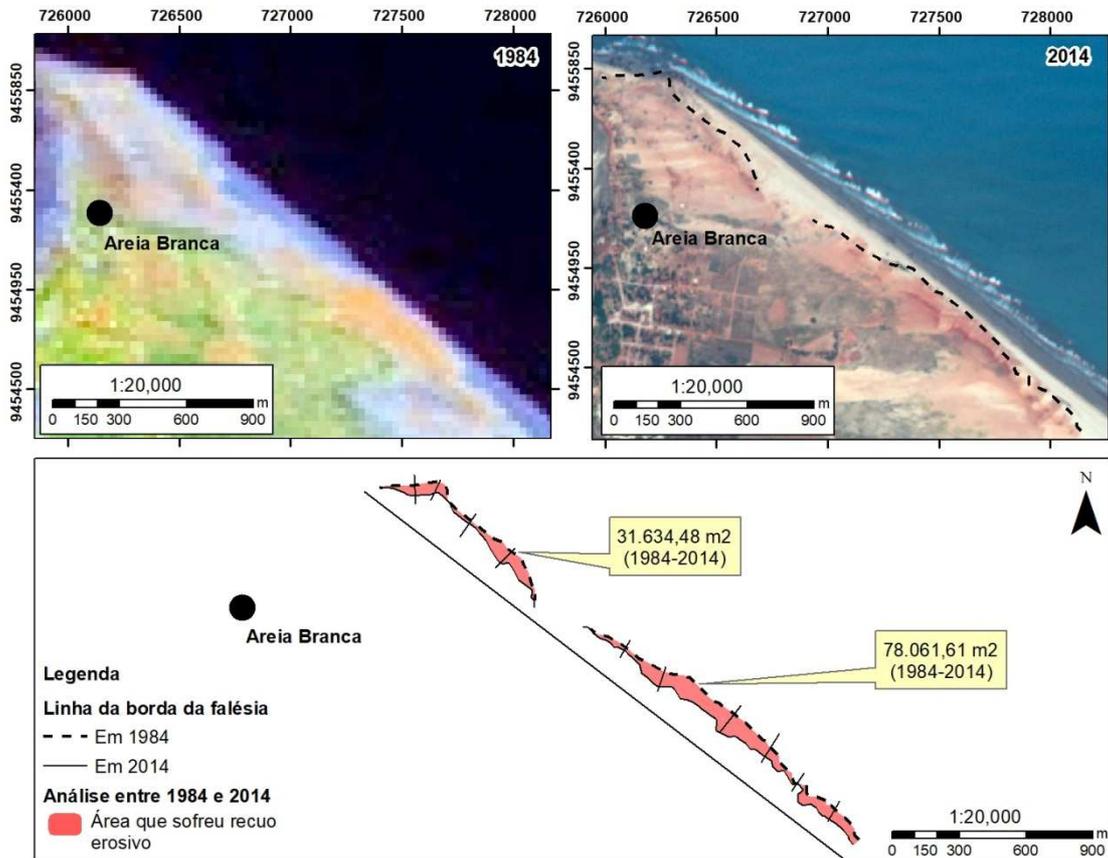


Figura 3 - Recuo da borda de falésias/arribas no município de Areia Branca entre os anos de 1984 até 2014.

#### 4.1.2. Taxa de retração das Falésias/Arribas de Touros

Esta área se encontra no litoral setentrional, localizado no Município de Touros. Com aproximadamente 1.337,44 m de comprimento, essa falésia/arriba está no ambiente de transição entre os processos costeiros do litoral setentrional com os do litoral oriental e foi onde se observou o menor recuo sofrido dentre todas as áreas analisadas. Entre os anos de 1986 e 1994 foi observado recuo da borda na porção Central da falésia/arriba de 2.022 m<sup>2</sup>.

Na década seguinte, entre os anos de 1994 a 2004, a porção Central continuou a mostrar recuo, porém com uma intensidade menor, sendo observado área de 895 m<sup>2</sup> de recuo da borda da falésia/arriba, ou seja, uma diminuição de 44,29% do recuo da década anterior. Porém, foi observada uma nova área que mostrou recuo, na porção Oeste, com 405 m<sup>2</sup> de área recuada.

Na última década analisada, entre os anos de 2004 a 2014, o recuo se concentrou entre a porção Central e porção Oeste, com área de 1.474 m<sup>2</sup> de recuo da borda da falésia/arriba (Figura 4).

O resultado final dessas três décadas (1984 – 2014) foi que a porção Central da falésia/arriba sofreu recuo de área total de 2.918 m<sup>2</sup>, enquanto que a porção Centro-Oeste mostrou 1.474 m<sup>2</sup> e a porção Oeste apresentou 405 m<sup>2</sup> de recuo. Vale salientar que a porção Central apresentou contínua erosão durante as duas primeiras décadas, mantendo-se estável na última década analisada, 2004 a 2014, enquanto que a porção Oeste só apresentou recuo na década de 1994 a 2004 e a porção Centro-Oeste por sua vez, só na década de 2004 a 2014 (Figura 4).

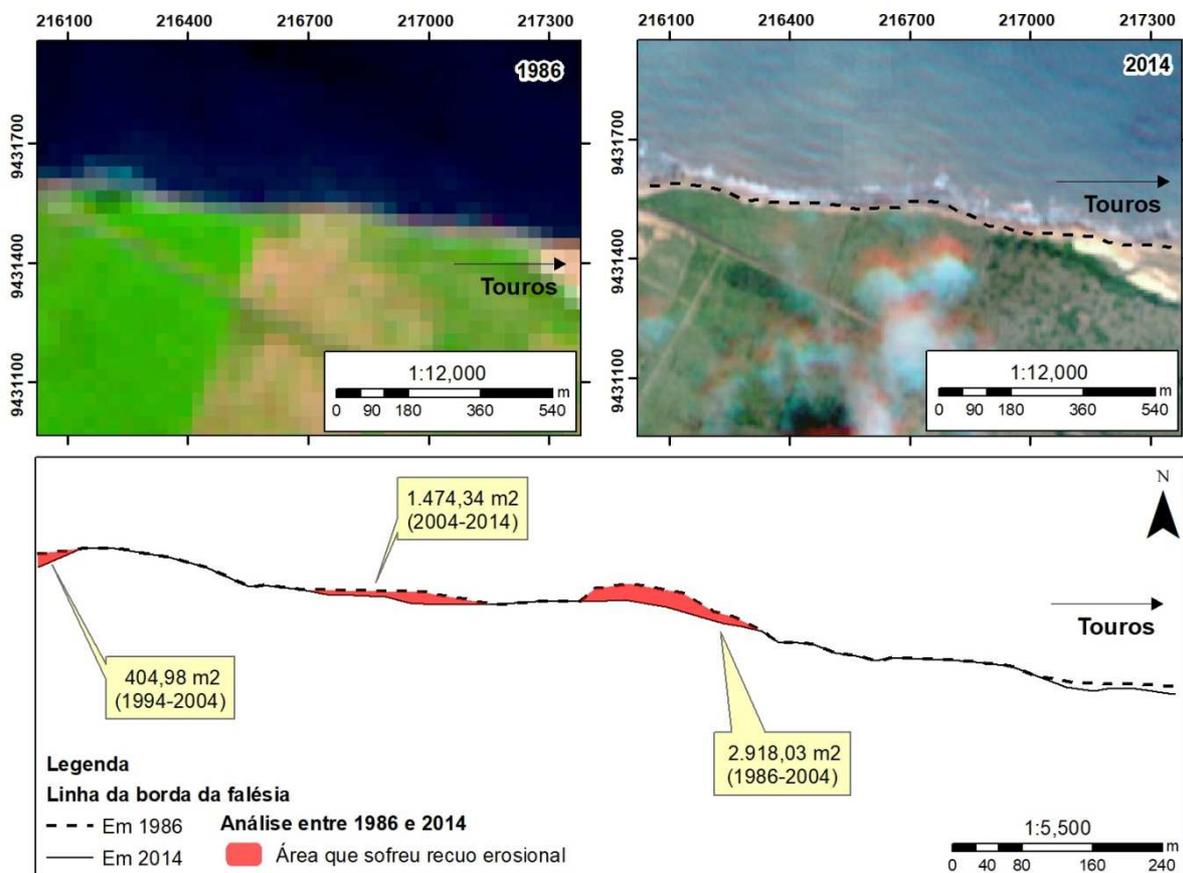


Figura 4 - Recuo da borda de falésias/arribas no município de Touros entre os anos de 1984 até 2014.

#### 4.1.3. Taxa de retração das Falésias/Arribas de Parnamirim

Esta área a ser descrita se encontra no litoral oriental, localizado no Município de Parnamirim, na base da aeronáutica denominada de Barreira do Inferno. Com uma extensão aproximada de 2.363,40 m, essa é a falésia/arriba que possui a menor pressão antrópica de

todas analisadas que apresentaram recuo, por estar inserida em uma zona militar que a mantém preservada da influência da ocupação humana direta.

Devido ao comprimento, optou-se por subdividir a falésia/arriba em duas seções para que os dados dos recuos observados pudessem ser observados espacialmente (Figuras 5 e 6). Não foi possível adquirir informações do ano de 1994, devido à taxa de cobertura de nuvens na região; as imagens de anos adjacentes, 1992, 1993, 1995, 1996, 1997, estavam todas com ruídos que comprometeram a área de estudo. Portanto, nesse caso, a análise de série temporal ficou limitada para os anos de 1986, 2004 e 2014.

Na análise feita na porção Norte representada na Figura 5, entre os anos de 1986 a 2004, foi identificado um significativo recuo da borda da falésia/arriba em quase toda sua extensão com área recuada de 2.448 m<sup>2</sup> no extremo Norte e uma área recuada de 4.271 m<sup>2</sup> distribuídos no restante da falésia/arriba. Porém, a análise feita na última década, de 2004 a 2014, não foi observado nenhum recuo (Figura 5).

Na porção Sul também foi observado que o recuo só ocorreu entre os anos de 1986 a 2004, apresentando estabilidade na linha da borda da falésia/arriba na última década, no entanto, nesse mapa apresentado na Figura 6, diferente da porção Norte da Figura 6, nessa é observado o recuo em 3 áreas ao Norte, com área total recuada de 3.416 m<sup>2</sup> e uma área menor de 347 m<sup>2</sup> no extremo Sul da falésia/arriba (Figura 6).

Essa maior estabilidade identificada na região conhecida como Barreira do Inferno pode estar relacionada à baixa pressão antrópica nessa seção e pela proteção de alguns cordões de rochas que afloram paralelos à linha de costa. Inclusive, onde tais cordões foram observados, a borda da falésia/arriba adentra o mar, enquanto que em suas adjacências onde há ausência das rochas a borda da falésia/arriba sofreu um recuo nitidamente maior.

Contudo, mesmo apresentando essa estabilidade decadal com ausência de recuo, a erosão continua ativa, tanto a de caráter pluvial, criando ravinas e voçorocas no topo da falésia/arriba, transportando os sedimentos em direção as praias e às plataformas de abrasão, como também a de caráter marinho, com as ondas, provocando erosão por abrasão e criando incisões na base da falésia/arriba.

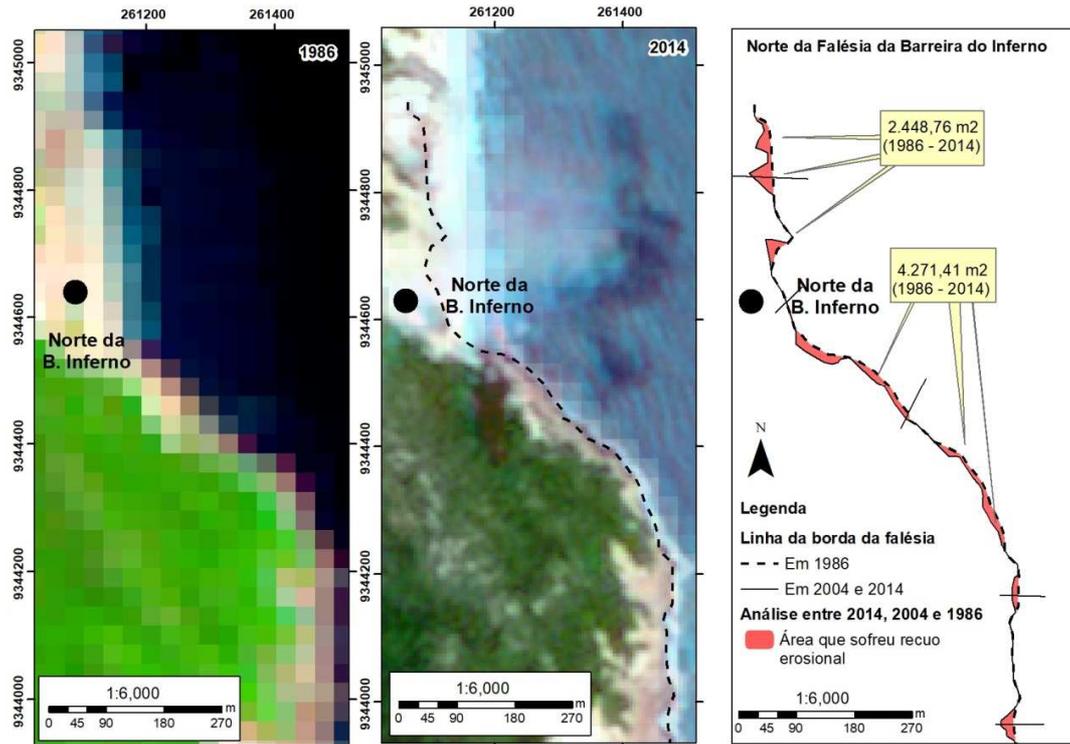


Figura 5 - Área total de recuo da borda da falésia/arriba na porção Norte da Barreira do Inferno, município de Parnamirim entre os anos de 1986 até 2014 e as linhas das bordas das falésias/arribas nos anos de 1986, 2004 e 2014.

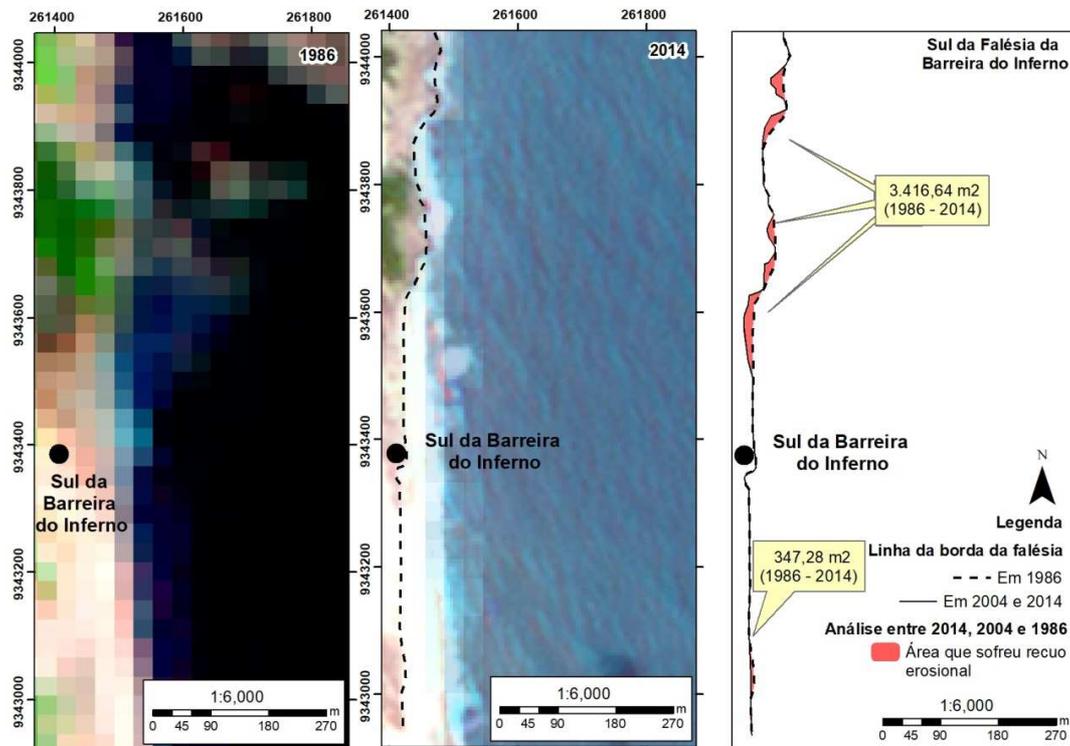


Figura 6 - Área total de recuo da borda da falésia/arriba na porção Sul da Barreira do Inferno, município de Parnamirim entre os anos de 1986 até 2014 e as linhas das bordas das falésias/arribas nos anos de 1986, 2004 e 2014.

#### **4.1.4. Taxa de retração das Falésias/Arribas de Tibau do Sul**

Esta área se encontra no litoral oriental no Município de Tibau do Sul. Com uma extensão aproximada de 5.914,00 m é a mais longa de todos os anos estudados. Por esse motivo, essa falésia/arriba foi subdividida em duas partes, a primeira que engloba desde o Norte até o Centro da falésia/arriba e é caracterizado por estar sob alta pressão antrópica (Figura 7) e a segunda parte que engloba do Centro até o Sul da falésia/arriba e é caracterizada por sofrer pouca influência humana e ainda conservar a vegetação nativa de Mata Atlântica (Figura 8).

Na análise realizada entre os anos de 1986 a 1994 na primeira parte da falésia/arriba foram observados dois locais que sofreram recuo nas porções Centro e Sul, o primeiro na porção Central teve área recuada de 4.049 m<sup>2</sup>, enquanto que o segundo local, mais ao Sul, teve área recuada de 1.913 m<sup>2</sup> e ambos os locais são conhecidos devido aos hotéis que aí estão instalados.

Na segunda parte da falésia/arriba, nessa mesma década, também foram observados dois locais que sofreram recuos, o primeiro na porção mais ao Norte localizado numa área bem conservada naturalmente, teve um recuo de 1.546 m<sup>2</sup>, enquanto que o segundo no extremo Sul, onde é identificado influência antrópica no ambiente, com desmatamentos e presença de construções, e apresentou um recuo de 32.402 m<sup>2</sup>.

Na análise entre os anos de 1994 a 2004, foi observado na primeira parte da falésia/arriba três locais que sofreram recuos, o primeiro no extremo Norte recuou 795 m<sup>2</sup>, o segundo local ao Norte também, recuou 2.039 m<sup>2</sup>, enquanto que o terceiro localizado mais ao Sul, recuou 8.308 m<sup>2</sup>.

Já na segunda parte, foi observado 3 pequenos locais concentrados ao Norte do mapa que sofreram recuo e juntos somam uma área recuada de 2.235 m<sup>2</sup>, porém todo o restante da extensão da falésia/arriba se manteve estável nessa década.

Entre os anos de 2004 a 2014 foram destacados dois locais que sofreram recuo na primeira parte. A primeira área recuada se localiza no extremo Norte e sofreu um recuo de 880 m<sup>2</sup>, enquanto que a segunda área se localiza no extremo Sul e sofreu um recuo de 1.260 m<sup>2</sup>.

Já na segunda parte, analisando essa mesma década, a borda da falésia/arriba em quase toda sua extensão se manteve estável, com apenas uma pequena área recuada localizada ao norte do mapa, com um recuo de 1.002 m<sup>2</sup>.

Ao comparar os resultados das três décadas analisadas, observa-se que na primeira parte da falésia/arriba de Tibau do Sul foram quatro locais que sofreram recuo, dos quais tiveram reincidência durante as duas ou três décadas e somente um local apresentou recuo uma única vez. A primeira área que sofreu recuo se localiza no extremo Norte e recuou 1.675 m<sup>2</sup> entre os anos de 1994 até 2014.

A segunda área se localiza ao Norte e recuou 2.039 m<sup>2</sup> somente na década entre 1994 a 2004. A terceira área localizada na porção Centro-Sul registrou um recuo de 12.357 m<sup>2</sup> entre os anos de 1986 a 2014, ou seja, em todas as décadas analisadas. A última área observada se localiza no extremo Sul e registrou um recuo de 3.174 m<sup>2</sup> também desde 1986 até 2014 (Figura 7). Essas informações demonstram um constante recuo da borda de falésia/arriba durante as décadas e pode ser o resultado da forte pressão antrópica nessa região, uma vez que tal localidade é um ponto turístico bastante movimentado e visitado devido as suas belezas paisagísticas naturais.

A segunda parte da falésia/arriba de Tibau do Sul também apresentou quatro locais que sofreram recuo, porém com o diferencial de que em nenhum desses locais foi registrado recuo em mais de uma década, dos 30 anos analisados, o que comprova que essa região possui uma estabilidade maior que a anterior. A primeira área observada, localizada no extremo Norte, sofreu recuo de 1.002 m<sup>2</sup> entre os anos de 2004 a 2014, já a segunda área localizada ao Norte recuou 1.546 m<sup>2</sup> entre os anos de 1986 a 1994. Enquanto que a terceira área localizada na porção Central registrou um recuo de 2.235 m<sup>2</sup> na década de 1994 a 2004 e a última área registrou um recuo de 32.402 m<sup>2</sup> nos anos de 1986 a 1994 (Figura 8). Essa maior estabilidade em relação à primeira parte da falésia/arriba deve estar relacionada, principalmente, à baixa pressão antrópica e pela presença de rochas aflorantes em locais pontuais rasos e paralelos à linha da costa.

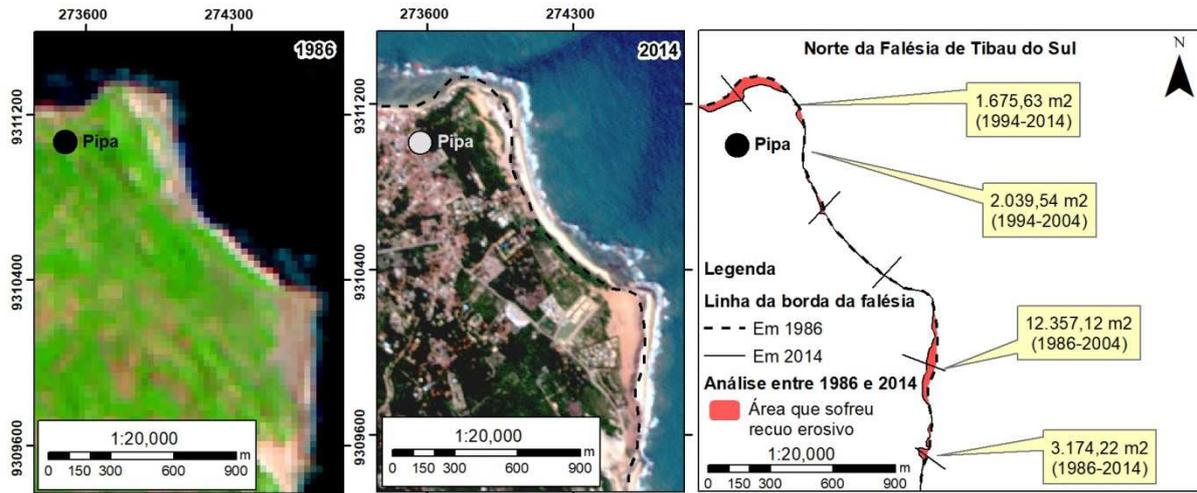


Figura 7 - Área total de recuo da borda da falésia/arriba na porção Norte de Tibau do Sul, desde os anos de 1986 até 2014 e as linhas das bordas das falésias/arribas nos anos de 1986 e 2014.

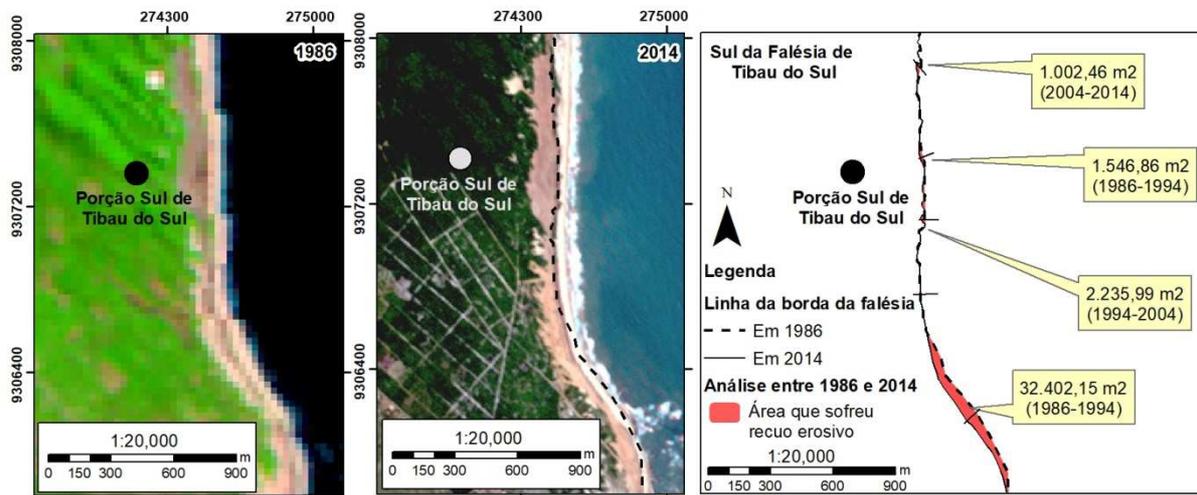


Figura 8 - Área total de recuo da borda da falésia/arriba na porção Sul de Tibau do Sul, desde os anos de 1986 até 2014 e as linhas das bordas das falésias/arribas nos anos de 1986 e 2014.

#### 4.1.5. Taxa de retração das Falésias/Arribas de Baía Formosa

A última área analisada também se localiza no litoral oriental, no Município de Baía Formosa, com uma extensão aproximada de 1.166,81 m, sendo considerada a menor falésia/arriba de todas aqui estudadas e a que possui a maior pressão antrópica.

Na análise realizada durante as três décadas, como nas áreas anteriores que sofreram recuo, observou-se que somente na primeira, entre os anos de 1986 a 1994, foi observado recuo da borda de falésia/arriba que ocorreram em dois lugares. O primeiro lugar se localiza no Oeste da falésia/arriba e sofreu recuo de 5.354 m<sup>2</sup>, enquanto que o segundo se localiza

na porção Central e sofreu recuo de 1.995 m<sup>2</sup>. No entanto, ao analisar as décadas de 1994 a 2004 e 2004 a 2014, a linha da borda da falésia/arriba se manteve estável (Figura 9).

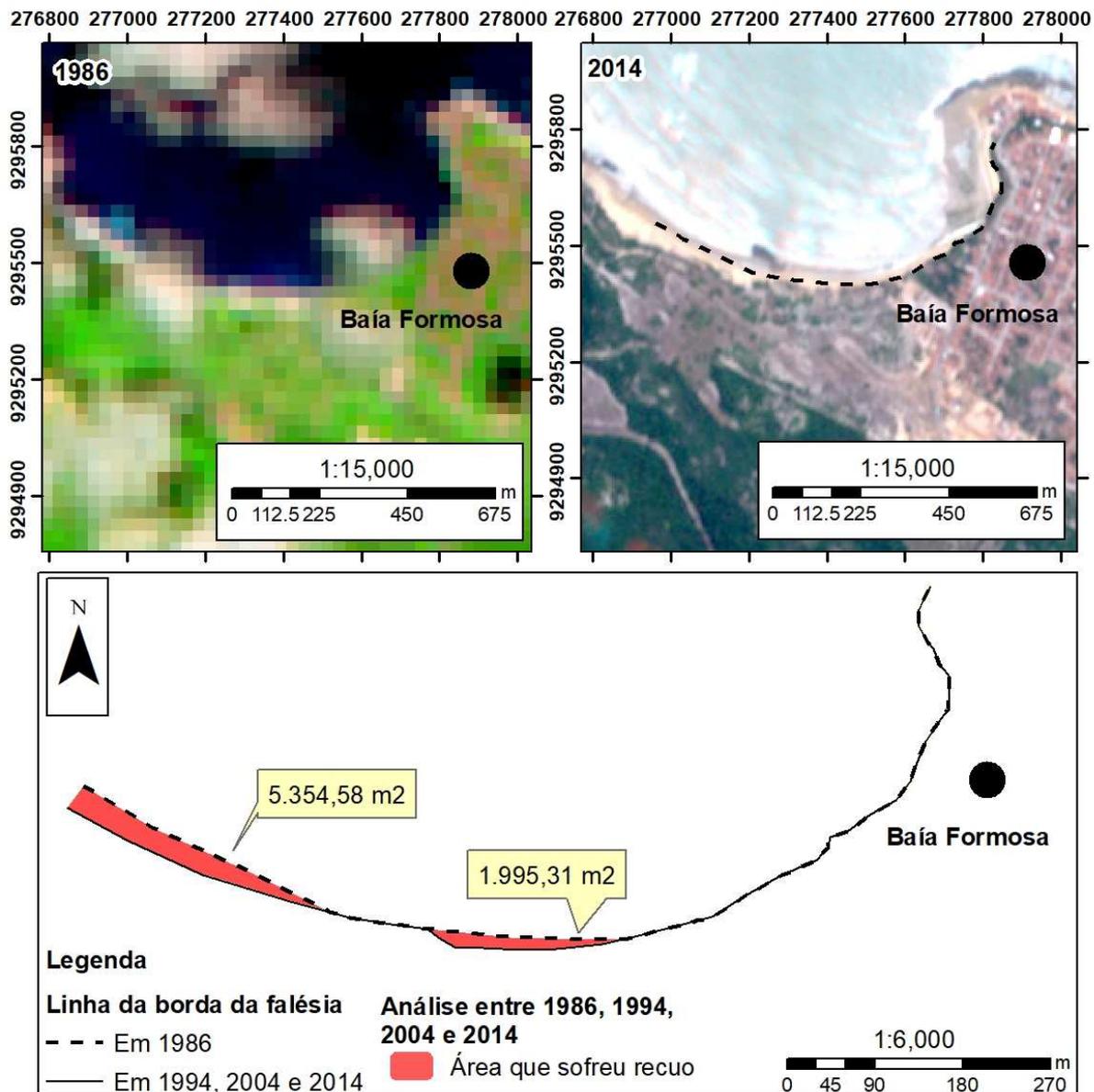


Figura 9 - Área total que sofreu recuo da borda da falésia/arriba em Baía Formosa, nos anos de 1986 até 2014 e as linhas das bordas das falésias/arribas nos anos de 1986 e 1994, 2004 e 2014.

#### 4.2. Fatores e impactos que influenciaram a instabilidade das Falésias/Arribas

Na análise da instabilidade durante as últimas três décadas foram identificadas quatro causas que influenciaram as alterações na linha de costa, mesmo as constituídas por falésias/arribas. O primeiro fator é a morfologia costeira em forma de pontal que se encontra perpendicular à corrente da deriva litorânea de direção SE-NW, aumentando a

intensidade do impacto das ondas na base das falésias/arribas, esse primeiro fator é exclusivo no litoral oriental do RN.

O segundo fator é a ausência de barreiras naturais marinhas que servem para amortecer o impacto das ondas e, conseqüentemente, diminuir sua força de abrasão, como por exemplo, o extenso cordão de rochas submersas que se encontra paralelo à costa e que são observados nas regiões onde as falésias/arribas se encontram estáveis. O terceiro é a escassez de vegetação tanto na borda e base da falésia/arriba quanto na escarpa da mesma, servindo tanto para diminuir significativamente a erosão pluvial e agindo também como feição natural de contenção ao desmoronamento da borda da falésia/arriba. Por último, a falta de estruturas de contenção que servem para impedir o contato do mar quando em maré alta.

Os tipos mais comuns de erosão identificados foram o escorregamento, deslizamento rotacional ou translacional, queda de blocos, tombamento/colapso, fluxos de detritos e fluxos de terra. Tais impactos estão pondo vias de acesso como estradas, rodovias (Figura 10A) e ocupações (Figura 10B) em situações cada vez mais críticas quanto ao risco de desmoronamento, devido às voçorocas, ravinamentos e fluxos de grãos que estão ocorrendo na falésia/arribas em Tibau do Sul (Figura 10A), além do deslizamento em áreas ocupadas, que por sua vez intensificam tais processos devido à pressão antrópica (Figura 10B). Já é possível identificar vários trechos onde os muros de contenção na base da falésia/arriba já estão danificados devido a erosão costeira e identificar o recuo das falésias/arribas nesses locais (Figura 10B).



Figura 10 – A) Áreas com risco de deslizamento, onde o recuo erosivo da falésia/arriba poderá alcançar a estrada que se encontra sobre a mesma em Tibau do Sul. B) Deslizamento da falésia/arriba danificando a estrutura de contenção que protegia a base da mesma e aumentando o risco de desmoronamento das ocupações presentes na borda da mesma em Tibau do Sul. Fonte – IDEMA, 2008.

Outra área que tem apresentado aumento no risco de impacto socioambiental é o Município de Areia Branca devido à erosão que cria incisões na base das falésias/arribas e, conseqüentemente, o tombamento de blocos, colocando em risco a população que se instala tanto na base como no topo da falésia/arriba (Figura 11 e 12).



Figura 11 – Porção oeste da falésia/arriba em Porto do Mangue expondo intensos tombamentos de blocos rochosos provenientes da mesma e ocupações na base da falésia/arriba.



Figura 12 – Porção oeste da falésia/arriba em Porto do Mangue evidenciando as residências que se encontram nas áreas de risco na base e na borda da falésia/arriba que está sofrendo recuo erosivo.

## 5. Considerações finais

A região costeira do RN caracteriza-se pela presença de falésias/arribas constituídas, predominantemente, por sedimentos da Formação Barreiras. Esta região sofre grande pressão natural devido a sua diversidade morfológica, estrutural e da hidrodinâmica costeira. Em diversos setores é intensamente influenciada pelo uso e ocupação desordenada do solo, principalmente devido aos interesses turísticos, como no caso dos municípios de Tibau do Sul e Baía Formosa.

As técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG permitiram a identificação dos principais setores de recuo de falésias/arribas no litoral setentrional e oriental do RN, indicando um

panorama geral de erosão em falésia/arribas no Estado, destacando os principais pontos onde estas feições estão mais ameaçadas de erosão intensa e descaracterização antrópica.

Os resultados mostraram que os setores de recuo de falésias/arribas se concentram em 5 regiões: Areia Branca, Touros, Parnamirim, Tibau do Sul e Baía Formosa. Estes recuos têm sido causados, principalmente, por fatores naturais como no caso das falésias/arribas de Touros, devido à ação do mar como principal fator de recuo; ou ainda, as falésias/arribas de Areia Branca e Parnamirim que tiveram um significativo recuo oriundo tanto da erosão pluvial, do escoamento superficial como também da ação marinha. Os tipos mais comuns de erosão identificados foram o escorregamento, deslizamento rotacional ou translacional, queda de blocos, tombamento/colapso, fluxos de detritos e fluxos de terra.

Porém, é importante enfatizar, que em alguns setores identificados as características naturais da área contribuem para a estabilidade da borda das falésias/arribas, como foi possível observar em Baía Formosa, onde as características morfológicas da área e a presença de vegetação sobre as falésias/arribas, contribuem para diminuir a intensidade da erosão.

De todas as áreas de recuo identificadas no período de 1984 – 2014, a região de Areia Branca foi a que apresentou maior recuo da borda da falésia/arriba, com recuo de 31.634m<sup>2</sup> na sua porção Noroeste e 78.060 m<sup>2</sup> na porção Sudeste. A região de Touros foi onde se observou o menor recuo dentre todas as áreas analisadas. A porção Central desta falésia/arriba teve recuo de área total de 2.918 m<sup>2</sup>, enquanto que a porção Centro-Oeste mostrou 1.474 m<sup>2</sup> e a porção Oeste apresentou 405 m<sup>2</sup>. Nas falésias/arribas de Parnamirim, a porção Norte teve recuo em quase toda sua extensão com área recuada de 2.448 m<sup>2</sup> no extremo Norte e uma área recuada de 4.271 m<sup>2</sup> distribuídos no restante da falésia/arriba. Na porção Sul a área total recuada foi de 3.416 m<sup>2</sup> com uma área de 347 m<sup>2</sup> no extremo Sul da mesma. Nas falésias/arribas de Tibau do Sul, o recuo foi de 3.174 m<sup>2</sup> na porção norte-centro, e de 32.402 m<sup>2</sup> na porção centro-sul. Nas falésias/arribas de Baía Formosa, na análise realizada durante as três décadas, foi observado recuo da borda de falésia/arribana sua porção Oeste com recuo de 5.354 m<sup>2</sup>, enquanto que na porção Central o recuo foi de 1.995 m<sup>2</sup>.

Sendo assim, identificar estes locais de maior recuo de falésia/arribas e compreender os processos envolvidos é essencial para a gestão dos ambientes costeiros, onde as Geotecnologias contribuem em auxiliar no desenvolvimento de sistemas de monitoramento de ambientes costeiros, assim como no planeamento das ações de gestão costeira integrada.

## 6. Referências bibliográficas

AGRAWAL, G., SARUP, J. Comparison of QUAC and FLAASH Atmospheric Correction Modules on EO-1 Hyperion Data of Sanchi. (Ijaest) International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies. Vol No. 4, Issue No. 1, 178 – 186, 2011.

ALASTA, Amro F. Using remote sensing data to identify iron deposits in central western Libya. *International Conference on Emerging Trends in Computer and Image Processing*, December 2011, p. 56 - 61.

ALMEIDA, R. V. J.; ARAÚJO, M. D. O. G.; SILVA, A. C.; SENNA, J. A. Comparação dos métodos de correção atmosférica: "6S" e "DOS" processadas em dados de sensor TM/Landsat 5 e correspondentes a região de ocorrência da turfeira P-D-F. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa, B2015.

ALMEIDA, J.E. Avaliação da retração no curto prazo da falésia marinha ativa da Barreira do Inferno com o uso do Laser Escâner Terrestre. 2017. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

AL-TAHIR, R.; ALI A. Assessing land cover changes in the coastal zone using aerial photography. *Surveying and Land Information Science*, 64, 2004, p. 107-112.

AMARAL, R. F. A Dinâmica Ambiental e o Problema da Erosão na Zona Costeira do Município de Tibau do Sul. IDEMA. Relatório interno. 45 p. 2001.

AMARO, V.E.; SANTOS, M.S. T.; SOUTO, M.V.S. Geotecnologias Aplicadas ao Monitoramento Costeiro: Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão. Natal: Edição do Autor. 118p. 2012.

ANTUNES, M. A. H.; DEBIASI, P.; SIQUEIRA, J. C. S. Avaliação espectral e geométrica das imagens RAPIDEYE e seu potencial para mapeamento e monitoramento agrícola e ambiental. *Revista Brasileira de Cartografia*, 2014, v. 66, n. 1, p. 105 - 113.

ARAÚJO, V.D.; Caracterização geológica tridimensional e Monitoramento de dunas no litoral oriental do Rio Grande do Norte. Dissertação nº. 60 / ppgg. 95p. 2006.

BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K.; BEZERRA, F. H. R.; TATUM, S. H.; YEES, M.; GIANNINI, P. C. M. Geologia e geomorfologia do quaternário costeiro do estado do Rio Grande do Norte. *Revista do Instituto de Geociências*, 2004, v. 4, n. 2, p. 1 - 12.

BATISTA, E.M.; SOUZA FILHO, P.W.; SILVEIRA, O.F.M. Avaliação de áreas deposicionais e erosivas em cabos lamosos da zona costeira amazônica através da análise multitemporal de imagens de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, 2009, v. 27, n. 1, p. 83-96.

BIANCHI C.N., ARDIZZONE G.D., BELLUSCIO A., COLANTONI R., DIVIACCO G., MORRI C., TUNES1 L. La cartografia del bentos. In *Manuale di metodologie di studiodel bentos marino mediterraneo*. Biol. Mar. Medit., 2003, v. 10, p. 367 - 394.

R. BLANCO-CHAO, K.; PEDOJA, C.; WITT, J.; MARTINOD, L.; HUSSON, V.; REGARD, L.; AUDIN, M.; NEXER, B.; DELCAILLAU, M.; SAILLARD, D.; MELNICK, J. F.; DUMONT, E.; SANTANA, E.; NAVARRETE, C.; MARTILLO, M.; PAPPALARDO, L.; AYALA, J. F.; ARAYA, A.; FEAL-PEREZ, D.; CORREA and I. AROZARENA-LLOPIS. The rocks coast

- of South and Central America. In KENNEDY, D. M.; STEPHENSON, W. J and NAYLOR, L. A. *Rock Coast Geomorphology: A Global Synthesis*, Geological Society, London: Geological Society, p. 155 - 191.
- BIRD, Erick Charles Frederick. *Coastal Geomorphology: An Introduction*. 2. ed. Melbourne: John Wiley & Sons, Ltd, 2008. 436 p.
- BIRD, E. 2016. *Coastal cliffs: Morphology and Management*. Switzerland: Springer.
- BOAK, ELIZABETH H. AND TURNER, IAN L. (2005) Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*: Volume 21, Issue 4: pp. 688 – 703.
- CAI, F.; SU, X.; LIU, J.; LI, B.; LEI, G. Coastal erosion in China under the condition of global climate change and measures for its prevention. *Progress in Natural Science*, 2009, v. 19, p. 415 - 426.
- CHAVEZ, J. P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environmet*, 1989, v. 62, n. 3, p. 451 - 479.
- CARVALHO, R.C. Avaliação da suscetibilidade à erosão no centro de lançamento da Barreira do Inferno. 2017. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J. AND DIAS, M.A.F.S. 2009. *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de textos. 2009. ISBN 978-85-86238-92-5.
- DAHDOUH-GUEBAS, F., VERHEYDEN, A., KAIRO, J.G., JAYATISSA, L.P. AND KOEDAM, N.2006. Capacity building in tropical coastal recourse monitoring in developing countries: A re-appreciation of the oldest remote sensing method. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*. v13; pp62-76.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO - DHN (Brasil). *Cartas náuticas*. Disponível em <<http://www.dhn.mar.mil.br/>>. Acesso em Jan 2018.
- DAVIDSON-ARNOTT, Robin. *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Cambridge: Cambridge University, 2010. 442 p.
- DUCART, D. F.; SILVA, A. M.; TOLEDO, C. L. B.; ASSIS, L. M. Mapping iron oxides with Landsat-8/OLI and EO-1/Hyperion imagery from the Serra Norte iron deposits in the Carajás Mineral Province, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, September 2016, v 46, n. 3, p. 331 - 349.
- EMERY, K. O. & KUHN, G. G. 1982. Sea cliffs: their processes, profiles, and classifications. *Geological Society of American Bulletin* 93, 644-654.
- FADHIL, A. M. Sands dunes monitoring using remote sensing and GIS techniques for some sites in Iraq. *Proc. of SPIE*, 2013, v. 8762, p. 876206-2 - 876206-9.
- FATIMA, F.; KHATTAK, M. U. K.; KAUSAR, A. B.; TOQEER, M.; HAIDER, N.; REHMAN, A. R. Minerals identification and mapping using ASTER satellite image. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2017, v. 11, n. 4, 046006-1 - 046006-18.
- FERREIRA, D. K.; SILVA, S. M. P. Delimitação de afloramentos de calcários da Formação Jandaíra utilizando dados LANDSAT 7/ETM+. *Sociedade e Território*, 2014, v. 26, n. 2, p. 31 - 43.
- FLETCHER, C. H.; MULLANE, R. A.; RICHMOND, B. M. Beach loss along armored shorelines of Oahu, Hawaiian Islands. *Journal of Coastal Research*, 2003, v.13, p. 209-215.
- FRASER, S. J. Discrimination and identification of ferric oxides using satellite thematic mapper data: A newman case study. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, v. 12, n. 3, p. 635 – 614.
- FURRIER, M.; ARAÚJO, M. E.; MENESSES, L. F. Geomorfologia e tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba. *Geologia Série Científica*, 2006, v. 6, 61 - 70.
- GENS, R. Remote sensing of coastlines: detection, extraction and monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 2010, v. 31, n. 7, p. 1819–1836.
- GRIGGS, G.B.; PATSCH, K.B. 2004. Cliff erosion and bluff retreat along the California coast. *Sea Technology*, 2004, v. 45, n. 9, p. 36 - 40.

- GRIGGS, G. B.; TRENHAILE, A. S. Coastal Cliffs and Platforms. In: CARTER, R.W.G.; WOODROFFE, C.D. Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics, Cambridge: Cambridge University Press, 1994, p. 425-450.
- GROSS, J. A.; SANTOS, F. C.; GAIDA, W.; TONIOLO, G. R.; PEREIRA FILHO, W. Influência de concentração de clorofila na resposta espectral de cultivares de soja. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015, João Pessoa... Anais, João Pessoa, Paraíba, p. 4099 - 4106.
- GUARIGLIA, A.; BUONAMASSA, A.; LOSURDO, A.; SALADINO, R.; TRIVIGNO, M. R.; ZACCAGNINO, A.; COLANGELO, A. A multi source approach for coastline mapping and identification of shoreline changes, *Annals of Geophysics*, 2006, v. 49, n. 1, p. 295 - 304.
- GUILCHER A. 1985. Red Sea Coasts. In: E.C.F. Bird and M.L. Schwartz. *The World's Coastline*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1985, p. 713 - 717.
- HAUGE, B. T. The use of remote sensing to map and monitor coastal dune vegetation change at Southampton, Ontario, Canada. Thesis, 2016, 156p.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE - IDEMA (Brasil). Perfil do seu município. Natal, 2008. Disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br>. Acesso: 31 Jul 2017.
- JESUS, E.O.; COSTA JR, R. 2015. A utilização de filtros gaussianos na análise de imagens digitais. *Proceedings Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics*, v.3, n. 1, p. 010118-1 - 010118-7.
- LAAKE, A. Integration of satellite imagery, geology and geophysical data. In DAR, I. A. *Earth and Environment Sciences*. Croatia: Intech Europe, 2011, p. 467 - 492.
- LEATHERMAN, S. P. Shoreline Change Mapping and Management Along the U.S. East Coast. *Journal of Coastal Research*, SPECIAL ISSUE NO. 38. *Shoreline Mapping and Change Analysis: Technical Considerations and Management Implications*, 2003, p. 5 - 13.
- KIRK, R. M. Coastal changes at Kaikoura, 1942- 1974, determined from air photographs. *Journal of Geology and Geophysics*, 1975, v. 18, p. 787 - 801.
- MARTINS, G.; SANTOS JÚNIOR, O. F.; CASTRO, V. L. L. O arcabouço geológico subsuperficial na cidade de Natal, Nordeste do Brasil: Inferências pela interpolação de dados litológicos de poços. *Revista de Geologia*, 2014, v. 27, n. 1, p. 1 - 17.
- MENEZES, P. R.; ALMEIDA, T. D. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Universidade de Brasília, Brasília, 2012, 266p.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. Gerenciamento Costeiro no Brasil. 2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro>. Acesso: 22/01/17.
- NUNES, L. S. 2009. Monitoramento Geoambiental da Praia de Areia Preta, Natal/RN. Monografia – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 132p.
- RABELO, T. O. Geodiversidade em Ambientes Costeiros: discussões e aplicações no setor sudeste da Ilha do Maranhão, MA-Brasil. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) – UFRN, Natal.
- RAPIDEYE, Satellite imagery product specifications. Disponível em: <[www.rapideye.com](http://www.rapideye.com)>. Acesso em 12 de fev. 2018
- RIBEIRO, J. R. C. Análise paramétrica da estabilidade de falésia e estudo de caso da Ponta do Pirambu em Tibau do Sul/RN. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFRN, Natal.
- ROSSO, T. C. A. Gestão integrada em bacias hidrográficas costeiras. In Workshop sobre Hidrodinâmica Costeira - Amigos de Boussinesq, 1, 2007, Vitória. Anais... Vitória: UFRJ, 2007, v. 1, p.1-7.
- SANCHES, I. D.; ANDRADE, R. G.; QUARTAROLI, C. F.; RODRIGUES, C. A. G. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsata 5 - TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI, In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba... Anais, Curitiba: INPE, 2011, v. 15, p. 7564 - 7571.
- SANTOS JÚNIOR, O. F.; AMARAL, R. F.; SCUDELARI, A. C. Failure Mechanisms of a Coastal Cliff in Rio Grande do Norte State, NE Brazil. *Journal of Coastal Research*, 2006, v. 39, p. 629 - 632.

- SANTOS JÚNIOR, O. F.; SCUDELARI, A. C.; COSTA, Y. D. J.; COSTA, C. M. L. Sea cliffs retreat mechanisms in Northeastern Brazil. *Journal of Coastal Research*, 2011, v. 64, p. 820 - 824.
- SEVERO, R. N. F. Análise da Estabilidade das Falésias entre Tibau do Sul e Pipa – RN. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – UFRN, Natal.
- SMALL, C.; NICHOLLS, R. J. A global analysis of human settlement in coastal zones *Journal of Coastal Research*, 2003, v. 19, n. 3, pp. 584-599.
- SOUTO, M. V. S.; CASTRO, A. F.; GRIGIO, A. M.; AMARO, V. E.; VITAL, H. Multitemporal Analysis of Geoenvironmental Elements of the Coastal Dynamics of the Region of the Ponta do Tubarão, City of Macau/RN, on the Basis of Remote Sensing Products and Integration in GIS. *Journal of Coastal Research*, 2006, v. 39, p. 1618 - 1621.
- SOUZA, E. M. Estratigrafia da sequência clástica inferior (andares Coniaciano-Maastrichtiano Inferior) da Baía da Paraíba, e suas implicações paleogeográficas. Tese de Doutorado, Pós-graduação em Geociências – UFPE, 2006, 350p.
- SOUZA JÚNIOR, C. S. Análise da Estabilidade de Falésias/arribas/arribas na Zona Costeira de Baía Formosa/RN. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013, 141p.
- SOUZA JÚNIOR, C. S. Análise de estabilidade de falésias na zona costeira de Baía Formosa - RN.139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
- SUNAMURA, T. Rocky coast processes: with special reference to the recession of soft rock cliffs. *Proceedings of the Japan Academy, Series B Physical and Biological Sciences*, 2015, v. 91. p. 481 - 500.
- TAQUEZ, D. E. D. Susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa e avaliação da estabilidade de falésias sob condição não saturada: estudo de caso no centro de lançamentos da barreira do inferno -Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017, 216p.
- TRENHAILE, A. S. *The Geomorphology of Rock Coasts*, London: Clarendon Press, 1987, 384p.
- VITAL, H.; SILVEIRA I. M.; AMARO V. E.; MELO F. T. L.; SOUZA F. E. S.; CHAVES M. S.; LIMA Z. M. C.; FRAZÃO E. P.; TABOSA W. F. *Erosão e Progradação no Litoral do Rio Grande do Norte*. Brasília: MMA, 2006.
- TESTA, V.; BOSENCE, D. W. J. Carbonato-siliciclastic sedimentation on high energy, ocean-facing, tropical ramp, NE Brazil. In WRIGHT, V.P.; BURCHETTE, T.P. *Carbonate Ramps*. London: Geological Society, 1998, p. 55-71.
- WILLIAMS, A.; RANGEL-BUITRAGO, N. G.; PRANZINI, E.; ANFUSO, G. The management of coastal erosion. *Ocean & Coastal Management*, 2017, v. 156, p. 4 - 20.